

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-357892

(43) 公開日 平成4年(1992)12月10日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/098		7630-4M		
G 0 2 F 1/35	5 0 1	7246-2K		
H 0 1 S 3/07		7630-4M		
3/0915		7630-4M	H 0 1 S 3/091	J
審査請求 未請求 請求項の数 3 (全 6 頁)				

(21) 出願番号 特願平3-133075

(22) 出願日 平成3年(1991)6月4日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 猿渡 正俊

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72) 発明者 川西 悟基

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

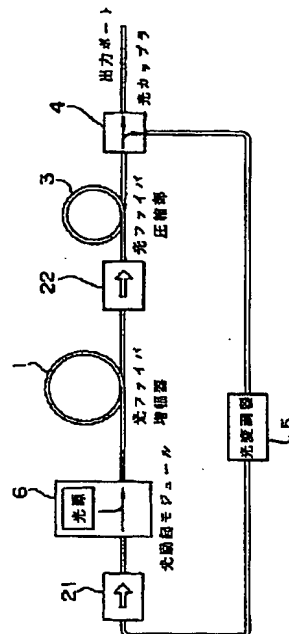
(74) 代理人 弁理士 志賀 正武

(54) 【発明の名称】 モード同期光ファイバレーザ装置

(57) 【要約】

【目的】 小型化、簡易化、並びに光ファイバとの整合性を実現する。

【構成】 光ファイバ増幅器1は発振波長で正常分散を有し、ここで大きなBSチャープを持つ光パルスが生成され、それが光ファイバ圧縮部3でチャープレスに圧縮されて光カップラ4の出力ポートから取り出される。光パルスの幅は、励起光パワーに依存する共振器内部の光パワーと、光ファイバ圧縮部3の異常分散値と長さで変えることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 希土類添加光ファイバを用いた光増幅部と、リング内の光パルスを取り出す光結合部と、光の損失または位相を変調する光変調部と、片回り光のみを通過させる光アイソレータ部と、希土類添加光ファイバを光励起する光励起部とを少なくとも備えたモード同期光ファイバリングレーザ装置において、上記光増幅部は零分散波長 λ_0 が発振波長 λ よりも十分長く、上記光増幅部と光結合部との間には発振波長 λ より十分短い零分散波長を有する光ファイバ圧縮部を備えたことを特徴とするモード同期光ファイバレーザ装置。

【請求項2】 光増幅部として、Er、NdまたはPrを添加した希土類添加光ファイバを用いることを特徴とする請求項1記載のモード同期光ファイバレーザ装置。

【請求項3】 光ファイバ圧縮部として、ブルーシフトチャープパルスのチャープ速度 α (nm/ps)と光ファイバの群速度分散D (ps/nm/km)とで決まる最適な線形圧縮条件 L_{op} (但し、 $L_{op} = 1/\alpha D$)より短い光ファイバを用いることを特徴とする請求項1記載のモード同期光ファイバレーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光ソリトン伝送方式、全光形光スイッチ、電気-光サンプリング、光-光サンプリング等に使用される1ピコ秒以下の超短光パルスを発生させるモード同期光ファイバレーザ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より、レーザの縦モード間の位相を揃えるモード同期法は、短い光パルス列を発生する方法として各種レーザに使用されている。しかし、従来のモード同期法で得られる最小の光パルス幅は媒質の利得幅で定まるため、1 μ mより長い長波長帯のレーザ媒質(Nd:YAG、希土類添加光ファイバ等)では数10ピコ秒が限界である。従って、更に短い光パルスを作るため、通常、モード同期で得た光パルスを外部のパルス圧縮系を用いて圧縮する手段が用いられていた。具体的には図8に示すように、まず光ファイバの光カー効果を用いて広いスペクトル幅でブルーシフトチャープパルスをもつ光パルスを作り、それを回折格子の組合せでチャープパルスを補償してパルスを圧縮する。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記図8から明らかなように、この方法ではモード同期レーザ装置とパルス圧縮装置の2つが必要となるので、小型で持ち運びが出来るような簡便な装置とはならなかった。特に、光通信システムではコア径が10 μ m程度の光ファイバを用いるため、安定かつ低損失に結合させた装置化が難しくなる。

【0004】 他方、比較的新しいパルス圧縮法に光ファイバを用いた光ソリトン圧縮がある。これは入射パルス

が十分強く、かつその波長が光ファイバの異常分散領域にあれば光ファイバの非線形効果(光カー効果)により高次の光ソリトンが生成され、光パルスが特定の長さを伝搬したときに最短に圧縮されるものである。なお、異常分散領域とは光パルス波形の伝搬する速度(群速度)が波長の増加に対して遅くなる領域であり、これに対して、波長が長いほどパルスの伝搬速度が速くなる領域が正常分散領域である。従来構造の石英系光ファイバでは、零分散波長が1.3 μ m近傍であり、これより短波長が正常分散領域、長波長が異常分散領域になる。ところで、光パルスは少なくともパルス幅の逆数で定まるスペクトル広がりを持つので、分散値が零でない光ファイバに入射して伝搬されると、長波長成分と短波長成分の速度が異なるためパルス幅が広がってしまう。これは光パルスのピーク値があまり大きくない線形領域の話であり、光パルスが強くなると光ファイバの光カー効果が誘起され、異常分散領域ではソリトン効果によるパルス圧縮が生じる。従来の光ソリトン圧縮は光ファイバレーザからの出力光パルスを圧縮する方法として有用であるが、この効果を得るためには入射させる光パルスが十分高いピークパワーを持たねばならない。従って、図9に示すように、モード同期光ファイバレーザ装置からの光パルスを光増幅器を用いて所定のレベルまで増幅し、それを異常分散値を持つ光ファイバに入射させる手法が用いられていた。この方法もモード同期レーザ装置以外に光増幅系やパルス圧縮系が必要のため、小型化、安定化などに問題があった。特に、ソリトン圧縮は入力パワー、光ファイバ長に依存するため、最適化の制御も必要になる。

【0005】 本発明は前記課題を有効に解決するもので、従来問題であった小型化、簡易化、並びに光ファイバとの整合性を実現するため、外部のパルス圧縮系を用いずに1ピコ秒以下の超短光パルスを発生させることができるモード同期光ファイバレーザ装置の提供を目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】 前記目的を達成するため、本発明は、希土類添加光ファイバを用いた光増幅部と、リング内の光パルスを取り出す光結合部と、光の損失または位相を変調する光変調部と、片回り光のみを通過させる光アイソレータ部と、希土類添加光ファイバを光励起する光励起部とを少なくとも備えたモード同期光ファイバリングレーザ装置において、上記光増幅部は零分散波長 λ_0 が発振波長 λ よりも十分長く、上記光増幅部と光結合部との間には発振波長 λ より十分短い零分散波長を有する光ファイバ圧縮部を備えたことを特徴とする。また、本発明の前記希土類は、Er、Nd、Prなど、レーザ遷移を有する元素であれば何でもよい。また、本発明は、ブルーシフトチャープパルスのチャープ速度 α (nm/ps)と光ファイバの群速度分散D (p

3

$a/\text{nm}/\text{km}$)とて決まる最適な線形圧縮条件長 L_{00} より短い光ファイバ圧縮部を用いることも含まれる。但し、 $L_{00}=1/(-\alpha D)$ である。

【0007】

【作用】本発明は次の如く的作用を有する。図1は本発明のリング共振器内の作用を従来系と比較して模式的に示した機能ブロック図である。光増幅部では光パルスのパワー（エネルギー）が増幅されるとともに、光カー効果（屈折率が光パワーに比例して変化する現象）による自己位相変調によりスペクトルが広がる。従来系では、光ファイバの分散値をほぼ零に選んで、光増幅部の利得幅 $\Delta\nu$ で定まるパルス幅 Δt がそのまま増幅されるようにしている。従って、増幅された光パルスは前記自己位相変調によるスペクトル広がりにより、パルス幅のフーリエ変換で与えられるトランスフォーム制限（TL）のスペクトル幅より広がってしまう。 $\Delta\nu$ と Δt は、それらの積 $\Delta\nu\Delta t$ の値によってTL条件を示すことができる。例えばガウス波形の場合、積の値が0.44の時に波形が最もきれいになり、この値からずれるとTL条件から外れるため、波形は劣化する。即ち、従来法のパルス幅は利得幅で制限されるとともに、TL条件から劣化
20 する問題がある。本発明では、光ファイバが有する大きな正常分散特性により、上記自己位相変調の結果生じたパルスの立ち上がり部に存在する低い周波数（長い波長）の光は、パルスの立ち下がり部に存在する高い周波数（短い波長）の光より光ファイバの伝搬速度が速いため、図2の光増幅部出口に示すように、ほぼ直線のブルーシフト（BS）チャーピング（パルス内の波長 λ が時間とともに減少する（周波数 ν は大となる）現象）に変形された光パルス波形となる。即ち、本発明において光増幅部の役割は、光パルスのエネルギーを増幅すると共に、利得幅に比べて大きなスペクトル広がりを持つ直線のBSチャーピングを有する光パルスを生成するものである。次に、このBSチャーピングパルスは、異常分散値をもつ光ファイバ圧縮部に導かれる。異常分散領域では、周波数が低い（波長の長い）ほど伝搬速度が遅いので、適
30 当な長さの光ファイバを伝搬すると、速度が遅いパルスの前半部分は速度が速いパルスの後半部分に追いつかれる。この時、BS光パルスはチャーピングが完全に補償されたので、前記TL条件を $\Delta\nu\Delta t$ が満たすため、自己位相変調の結果広がったスペクトル幅 $\Delta\nu_{\text{self}}$ で定まる短いTLパルス幅 Δt_{self} に圧縮されたことになる。光パルスがTLパルスに圧縮される条件は、光ファイバの分散特性がほぼ線形に近似できるので、チャーピング特性が $\lambda(t)=\lambda(0)+\alpha t$ （但し、 α はチャーピング速度で (nm/ps) の単位で、本発明では負符号である）のように時間 t の一次関数（線形な関数）で近似できることである。パルス幅が不変の従来の増幅条件では自己位相変調の結果生じるチャーピングは波形の時間微分
40 与えられるため、図3に示すように線形条件から大きく

4

ずれてしまう。図2では時間 t とともに周波数 ν が大となる直線となっているが、図3では起伏がある。しかるに、本発明では、光増幅部の正常分散特性により、チャーピングがほぼ線形に整形されるので（図2参照）、ほぼTLパルスとなるまでパルスが圧縮される。さらに、より実用性を高める効果として、異常分散領域では非線形効果が強まると、ソリトン圧縮効果が加わることを従来用いていた。通常、線形の領域ではパルス幅が最短になる圧縮条件があり、それは光ファイバの群速度分散を $D(\text{ps}/\text{km}/\text{nm})$ 、チャーピング速度を $\alpha(\text{nm}/\text{ps})$ と仮定すると、最適な光ファイバ長 $L_{00}(\text{km})$ が $L_{00}=1/(-\alpha D)$ で与えられる。即ち、線形領域では光ファイバ長 L が L_{00} より短かすぎても長すぎても良くない。これに反して本発明のパルス圧縮部では、線形のチャーピング補償に加えて、パルスの圧縮過程で尖頭値が高まることによるソリトン圧縮効果が生じる。これにより、線形領域よりも急速にパルス圧縮が進み、線形領域の最適長 L_{00} より短い長さ L_{soliton} で線形圧縮で得られる最短パルスより短い光パルスに圧縮される。しかも、これがソリトンパルスに収束するため、 L_{soliton} より多少長くなってもパルス幅はそれほど広がらず、設計や動作条件に対する余裕が大きくなる。以上のことから、本発明では光ファイバ圧縮部の長さの条件を短くかつ緩くできると共に、非線形によるソリトン圧縮効果を利用することで、チャーピング幅で定まるTLパルス幅よりも小さなパルス幅を実現することができる。

【0008】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面に基づき説明する。図4は本発明の実施例を示す図である。図中符号1は希土類添加光ファイバを用いた光ファイバ増幅器、符号2 1および2 2は光アイソレータ、符号3はファイバ圧縮部、符号4は1（または2） \times 2の光カップラ、符号5はモード同期用光変調器、符号6は光励起モジュールである。前記光ファイバ増幅器1に必要な励起光（発振光より短い波長の光）は光励起モジュール6内にある光源、例えば半導体レーザ（LD）から供給される。光励起モジュール6は図示した如く、励起光と発振光を合波する2 \times 1カップラの機能を有している。これは励起光の波長は曲げられ、発振光の波長は直進する波長特性を有する光ファイバカップラ、またはダイクロイックミラーや回折格子を用いて実現できる。また、直交する偏波を多重する偏波結合器や、多少の光透過損失を許容するならば単にパワーを分割する光カップラを用いてもよい。共振器内の光を決められた周波数で変調するモード同期光変調器5は、光の強度や位相が高速にオン・オフできればよく、市販（例えばBT&デュボン）の電気光学（E-O）効果を用いたマッハツェンダ型または方向性結合型LiNbO₃（LN）強度変調器（図5、図6参照）が使用できる。その他、半導体材料（InGaA
50

s等)のフランツケルディシュ効果、E-O効果、光シユタルク効果など使う変調器、または市販のモード同期YAGレーザに使用される音響光学(A-O)効果を用いたLN光変調器も使用できる。

【0009】これらの部品は光ファイバ経路でリング形状につながっており光学長 L_c の片回り(本実施例では右回り)のリング共振器を構成している。尚、本実施例では2個の光アイソレータ21、22と1個の光励起モジュール6を用いているが、それらの配置ならびに個数は適宜当業者が必要に応じて変更できるものである。例えば、光アイソレータ21は光励起モジュール6と光ファイバ増幅器1との間に配置する構成とすることも可能であり、光励起モジュール6は光ファイバ増幅器1と光アイソレータ22との間に追加する構成とすることも可能である。

【0010】基本的な動作は、まず光励起モジュール6で発振閾値以上の光励起を与える。すると、光ファイバ増幅器1内で発生した自然放光を種にして片回りリング共振器によりCWのレーザ発振が生じる。次に、光変調器5に共振器の光学長 L_c で定まる共振周波数 $f_c = kc/L_c$ (但し、 k は整数、 c は光速)の変調信号(図示せず)を光変調器5に加えると、 f_c の光周波数間隔を持つ全ての縦モードの位相が揃い、パルス列発振となるモード同期が実現する。ところで、数10MHz程度の駆動周波数では、変調信号としてパルス幅の小さな矩形パルスが望ましい。光ファイバ増幅器1は発振波長で正常分散を有しており、ここで大きなBSチャープを持つ光パルスが生成され、それが光ファイバ圧縮部3でチャープレスに圧縮されて光カップラ4の出力ポートから取り出される。光パルスの幅は、励起光パワーに依存する共振器内部の光パワーと、光ファイバ圧縮部3の異常分散値と長さで変えることができる。

【0011】次に、実際の実験系の構成を図7に示す。ここでは、希土類添加光ファイバとして、Er(エルビウム)を添加した長さ50mの正常分散ファイバ(波長1.5 μ mで $D = -45$ ps/nm/km)、圧縮ファイバとして1.3 μ mで零分散となる通常ファイバを120m(波長1.5 μ mで $D = 16$ ps/(nm·km))、励起パワー35mWで1ps幅のTLパルスが得られている。従来のパルス圧縮部を用いない系では、せいぜい10ps程度の幅しか得られなかったが、本発明で大幅にパルス圧縮された光パルスが得られた。また、チャープ速度の測定結果から、線形領域での最適パルス圧縮条件は上記圧縮ファイバを用いると約500m以上となるが、これが約5分の1に短くできるという効果を奏した。

【0012】尚、希土類元素の種類としては、現在、Erが1.5 μ m帯、Nd及びPdが1.32 μ m帯として使用できる。Erレーザでは群速度分散の条件を満たすため、光増幅部用はコア系を十分小さくして導波路分散の寄与を大きくした分散シフトファイバを、光ファイバ圧縮部には通常の1.3 μ m零分散ファイバを使用すればよい。また、偏波特性の安定化のため、リング共振器内の光ファイバの全てまたは殆どを偏波保持型光ファイバに置き換えてもよい。Nd及びPdの1.32 μ m帯では、光増幅用としては通常の1.55 μ m零分散ファイバ構造を、光ファイバ圧縮部用には1.30 μ m零分散ファイバを使用すればよい。

【0013】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、モード同期光ファイバリングレーザ装置において、光増幅部に大きな正常分散特性を持つ希土類添加光ファイバを用い、光増幅部と光をリングから取り出す光結合部との間に異常分散特性を有する光ファイバ圧縮部を挿入することにより、従来用いられていた外部の光パルス圧縮系なしに1ps以下の光パルスを発生させることができ、小型化、高安定、装置化に適した超短光パルスレーザを構成することができる等の効果を奏することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の機能ブロック図である。

【図2】本発明の光波形とスペクトルを示す図である。

【図3】従来の光波形とスペクトルを示す図である。

【図4】本発明の実施例を示す構成図である。

【図5】本発明の実施例の広帯域・低駆動電圧2×2スイッチの構造モードの平面図である。

【図6】本発明の実施例の広帯域・低駆動電圧2×2スイッチの構造モードの断面図である。

【図7】本発明の実施例のモードロックリングレーザ系の構成図である。

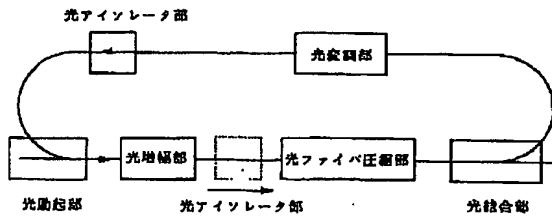
【図8】従来技術の超短光パルス発生装置の1つの例を示す構成図である。

【図9】従来技術の超短光パルス発生装置の他の例を示す構成図である。

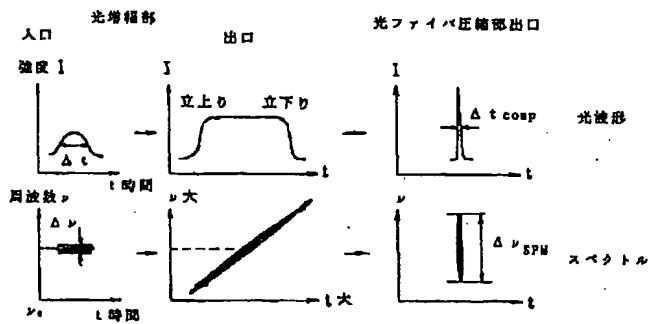
【符号の説明】

- 1 光ファイバ増幅器
- 3 光ファイバ圧縮部
- 4 光カップラ
- 5 光変調器
- 6 光励起モジュール
- 21 光アイソレータ
- 22 光アイソレータ

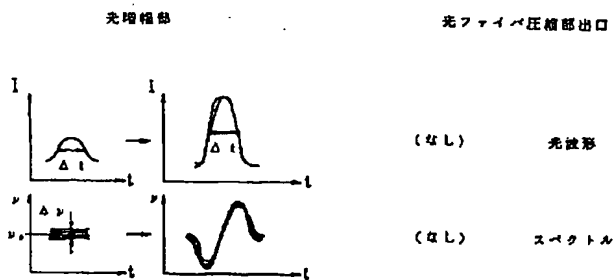
【図1】



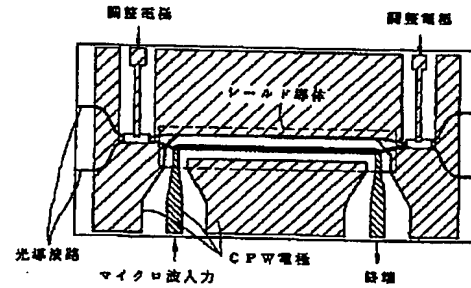
【図2】



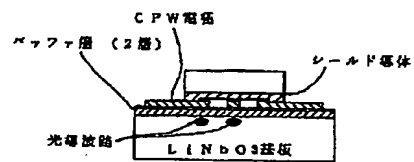
【図3】



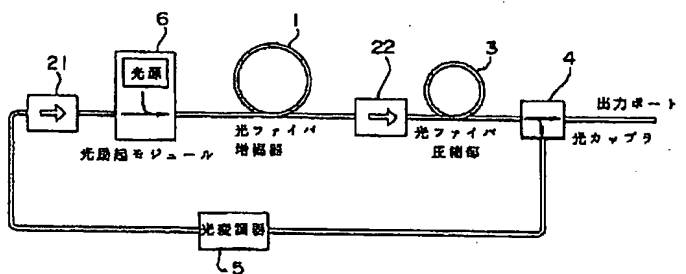
【図5】



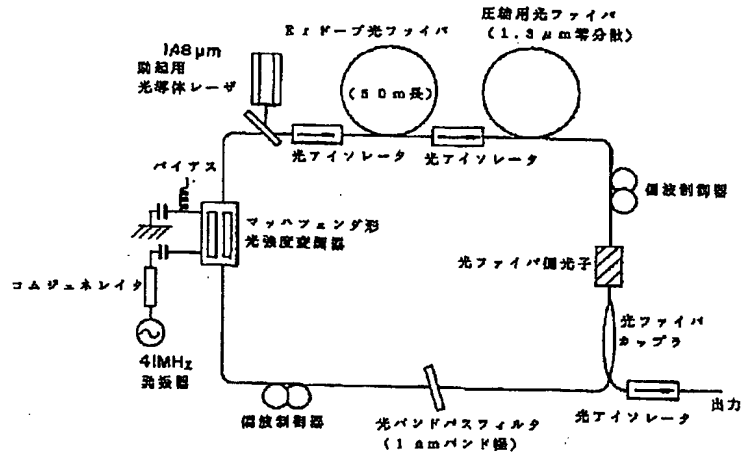
【図6】



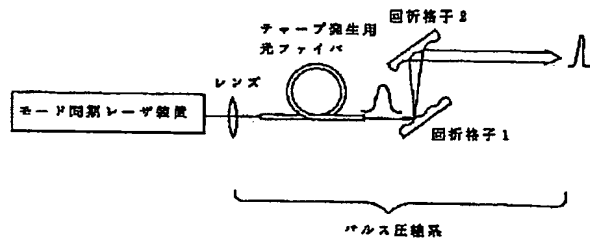
【図4】



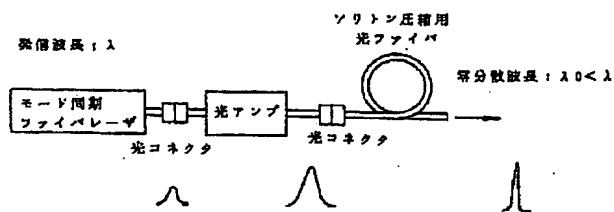
【図7】



【図8】



【図9】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.